

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2021)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/ADSD2201>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/DBTK3972>

Н. М. Мартынова, Е. В. Оришевская, *Е. В. Приходько

Торайгыров университет,
Республика Казахстан, г. Павлодар

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТУРБОПИТАТЕЛЬНОГО НАСОСА БЛОКА 500 МВт

В статье производится анализ эффективности тепловой работы энергоблока проведено на основании тепловых испытаний турбоагрегата К-500-240-2 с целью оценки текущего изменения экономичности оборудования в процессе эксплуатации.

Тепловое испытание турбоагрегата включало в себя две серии опытов при режимах: питание турбопитательного насоса от отбора главной турбины и от быстродействующего редуционно-охлаждающего устройства.

Получены зависимости: расхода пара на турбопривод и внутренней мощности турбопривода от расхода питательной воды и давления отработавшего пара в конденсаторе турбопитательного насоса-А от расхода пара на турбопривод.

Быстродействующее редуционно-охлаждающее устройство питательного турбопитательного насоса позволяет подать пар к приводным турбинам питательных насосов и к деаэратору при сбросе нагрузки или при нагрузке ниже 30 %, когда давление пара в отборе на турбопитательные насосы недостаточно.

При подключении турбопитательного насоса к четвёртому отбору турбины наблюдается рост расхода пара на турбопривод на 11 % в сравнении с нормативным, причинами чему могут быть снижение внутреннего относительного коэффициента полезного действия, снижение располагаемого теплоперепада, неудовлетворительная работа насоса и повышенное гидравлическое сопротивление сети.

Ключевые слова: турбопитательный насос, эффективность работы, блочная установка, турбопривод, анализ работы.

Введение

В настоящее время не уделяется должное внимание вопросу экономичности турбопривода питательных насосов тепловых электростанций,

несмотря на то, что работа станции на высоких и сверхвысоких параметрах пара ставит питательные насосы в такие условия работы, которые в целом ряде случаев благоприятствуют применению турбопривода. Питательные турбонасосы относятся к вспомогательному оборудованию паротурбинных установок как основные потребители энергии собственных нужд на крупных электростанциях с высокими и сверхкритическими начальными параметрами пара. Повышение его эффективности путем наладки режима работы влияет на безопасность, надежность и экономичность работы энергоблока в целом.

Материалы и методы

Исследование эффективности тепловой работы энергоблока проведено на основании тепловых испытаний турбоагрегата К-500-240-2 с целью оценки текущего изменения экономичности оборудования в процессе эксплуатации.

Результаты и обсуждения

Паровая конденсационная турбина К-500-240-2 без регулируемых отборов пара, с промежуточным перегревом, номинальной мощностью 500 МВт предназначена для непосредственного привода генератора переменного тока ТВВ-500 при работе в блоке с прямоточным котлом П-57-3М [1].

Турбина имеет девять нерегулируемых отборов пара для регенеративного подогрева питательной воды до температуры 265 °С (таблица 1). Кроме регенеративных отборов турбина допускает отбор пара на сетевые подогреватели основной бойлер и пиковый бойлер для покрытия теплофикационных нужд с сохранением мощности. Допускается дополнительный отбор пара на собственные нужды станции из трубопроводов холодного и горячего промперегрева суммарным расходом до 100 т/ч (с соответствующим снижением мощности) [2], [6].

Таблица 1 – Отборы и потребители пара турбины

Отбор	Потребители
I отбор (за 8 ступенью ЦВД)	ПВД-9
II отбор (из холодного пром. перегрева)	ПВД-8
III отбор (за 4 ступенью ЦСД)	ПВД-7
IV отбор (за 6 ступенью ЦСД)	Деаэратор 7 кгс/см ²
IV отбор (за 6 ступенью ЦСД)	Трубопровод ПН
V отбор (за 9 ступенью ЦСД)	Бойлера пиковые
V отбор (за 9 ступенью ЦСД)	ПНД-5
VI отбор (за II ступенью ЦСД)	Бойлер II ступени
VI отбор (за II ступенью ЦСД)	ПНД-4
VII отбор (за I ступенью ЦНД)	Бойлер I ступени
VII отбор (за I ступенью ЦНД)	ПНД-3
VIII отбор (за 2 ступенью ЦНД)	ПНД-2
IX отбор (за 4 ступенью ЦНД)	ПНД-1

В состав турбоустановки входят два питательных турбонасосных агрегата (ПТН), каждый из которых состоит из питательного насоса ПН-1500-350, приводной турбины ОК-18 ПУ-500; предвключенные (бустерные) насосы расположены на одном валу с питательным насосом. Приводная турбина питательных насосов при недостаточном для обеспечения их работы давлении в соответствующем отборе главной турбины питается от БРОУ ТПН.

Техническая характеристика питательного турбонасоса составлена на основании [3, 7].

Питательные турбонасосы типа ПН-1500-350 состоят из питательного насоса, стопорно-регулирующего клапана, приводной паровой турбины и узлов автоматического регулирования. В состав питательного агрегата типа ПН-1500-350 входит предвключенный насос, который приводится во вращение от паровой приводной турбины питательного насоса через редуктор.

Конденсационные турбины ОК-18 ПУ-500 предназначены для привода питательного и предвключенного насосов энергоблока с турбоагрегатом типа К-500-240-2. Они работает с переменной частотой вращения при переменных начальных параметрах пара, поступающего из нерегулируемого отбора главной турбины, обеспечивая при этом необходимую мощность на режимах от 37 до 100 % по расходу питательной воды блока 500 МВт (при работе одновременно двух турбоприводов).

Исследование проведено на основании результатов теплового испытания турбоагрегата типа К-500-240-2.

Тепловое испытание турбоагрегата включало в себя две серии опытов при режимах, указанных в таблице 2.

Таблица 2 – Экспериментальное содержание теплового испытания

Серия	Условия	Нагрузка, МВт	Количество опытов
Первая серия теплового испытания	ПВД отключены, питание ТПН от IV-го отбора главной турбины	480	1
		440	1
		400	1
	ПВД отключены, питание ТПН от БРОУ ТПН	480	1
		440	1
		400	1

Вторая серия теплового испытания	регенерация включена полностью, питание ТПН от IV-го отбора главной турбины	480	1
		440	1
		400	1
	регенерация включена полностью, питание ТПН от БРОУ ТПН	480	1
		440	1
		400	1

Испытательная тепловая схема с указанием точек измерений рабочих параметров приведена на рисунке 1.

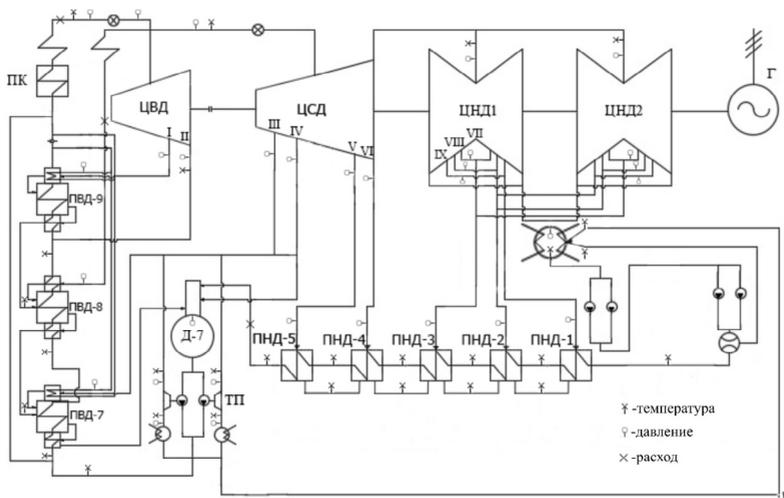


Рисунок 1 – Испытательная тепловая схема с указанием точек измерений рабочих параметров

Сравнительный анализ результатов испытания и соответствующих нормативных показателей позволяет обнаружить изменения в работе ТПН при переключении с IV-го отбора главной турбины на БРОУ ТПН (таблица 3).

Таблица 3 – Показатели работы ТПН

Параметр работы ТПН	ПВД включены, питание ТПН от IV-го отбора	ПВД включены, питание от БРОУ
Давление пара до СК ТПН-А, кгс/см ²	8,85	12,15
Давление пара до СК ТПН-Б, кгс/см ²	9,65	13,05
Температура пара до СК ТПН-А, °С	382	384

Температура пара до СК ПТН-Б, °С	385	384
Расход пара к ПТН-А, т/ч	52,98	59,79
Расход пара к ПТН-Б, т/ч	52,38	50,75
Вакуум в конденсаторе ПТН-А, кгс/см ²	0,076	0,077
Вакуум в конденсаторе ПТН-Б, кгс/см ²	0,056	0,057

Графические характеристики работы ПТН представлены на рисунках 2–5.

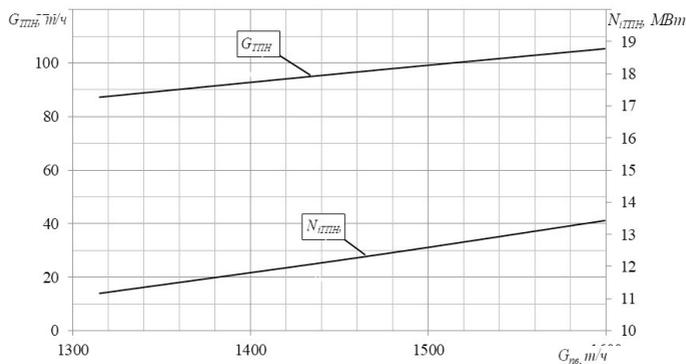


Рисунок 2 – Зависимость расхода пара на турбопривод и внутренней мощности турбопривода от расхода питательной воды (питание ПТН от 4-го отбора главной турбины, ПВД включены)

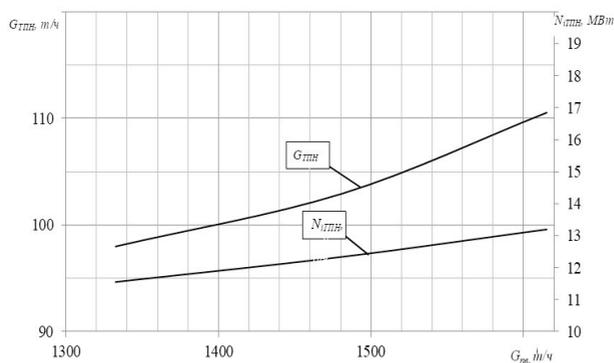


Рисунок 3 – Зависимость расхода пара на турбопривод и внутренней мощности турбопривода от расхода питательной воды (питание ПТН от БРОУ ПТН, ПВД включены)

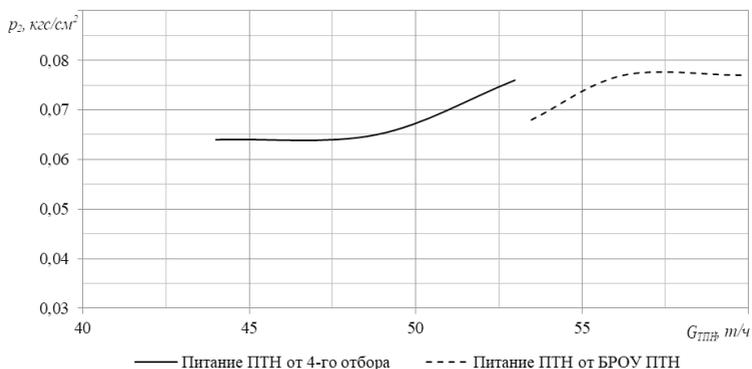


Рисунок 4 – Давление отработавшего пара в конденсаторе ПТН-А в зависимости от расхода пара на турбопривод

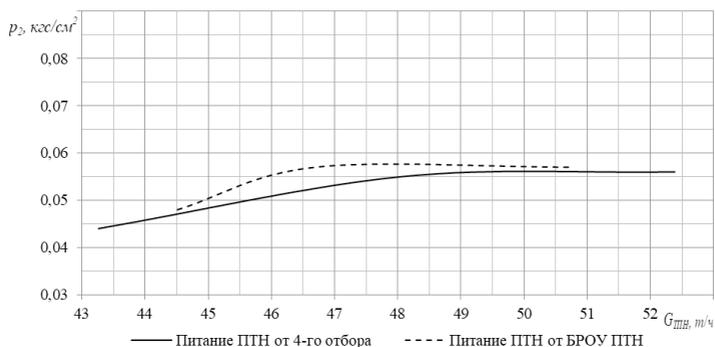


Рисунок 5 – Давление отработавшего пара в конденсаторе ПТН-Б в зависимости от расхода пара на турбопривод

Выводы

При переключении ПТН с IV-го отбора главной турбины на БРОУ ПТН значительно увеличивается давление пара перед стопорными клапанами ПТН, при этом внутренний относительный КПД ПТН и внутренняя мощность турбины при заданном расходе пара снижается. При подключении ПТН к 4-му отбору турбины наблюдается рост расхода пара на турбопривод на 11 % в сравнении с нормативным, причинами чему могут быть снижение внутреннего относительного КПД, снижение располагаемого теплоперепада, неудовлетворительная работа насоса и повышенное гидравлическое сопротивление сети.

Питание ПТН паром от 4-го отбора главной турбины влияет на общие показатели турбоагрегата, что вызывает необходимость расхода пара от главной турбины и, как следствие, приводит к уменьшению выдачи полезной мощности и к снижению общей экономичности турбоустановки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата К-500-240-2 ХТГЗ ТХ 34-70-012-85.
- 2 Паровая турбина К-500-240 ХТГЗ / Под редакцией В. Н. Саввина. – М. : Энергоатомиздат, 1984.
- 3 РД 34.41.202 Инструкция по монтажу питательных насосов для блоков с турбинами типов К-300-240, К-500-240, К-800-240 и Т-250/300-240.
- 4 **Вукалович, М. П., Ривкин, С. Л., Александров, А. А.** Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. – 1969.
- 5 Методические указания по проведению экспресс-испытаний паровых турбин электростанций, утверждены приказом Министра энергетики Республики Казахстан от 30 декабря 2016 года № 580.
- 6 **Трухний, А. Д., Лосев, С. М.** Стационарные паровые турбины. – М. : Издательство МЭИ, 2001. – 488 с. ил.
- 7 **Щегляев, А. В.** Паровые турбины. – М. : Энергоатомиздат, 1993.
- 8 **Самойлович, Г. С., Трояновский, Б. М.** Переменные и переходные режимы в паровых турбинах. – М. : Энергоиздат, 1982
- 9 **Нигматулин И. Н. и др.** Тепловые двигатели. – М. : Высшая школа, 1974.
- 10 Паровые и газовые турбины для электростанций / Под ред. А. Г. Костюка. – М. : МЭИ, 2016.

REFERENCES

- 1 Tipovaya energeticheskaya harakteristika turboagregata K-500-240-2 HTGZ TH 34-70-012-85. [Typical energy characteristics of a turbine unit K-500-240-2 HTGZ TH 34-70-012-85] [Text].
- 2 Parovaya turbina K-500-240 HTGZ / Pod redakciej V. N. Savvina. [Steam turbine K-500-240-2 HTGZ] [Text]. - Moscow : Energoatomizdat, 1984.
- 3 RD 34.41.202 Instrukciya po montazhu pitatel'nyh nasosov dlya blokov s turbinami tipov K-300-240, K-500-240, K-800-240 i T-250/300-240 [Installation instructions for feed pumps for blocks with turbines of types K-300-240, K-500-240, K-800-240 and T-250/300-240] [Text].

4 **Vukalovich, M. P., Rivkin, S. L., Aleksandrov, A. A.** Tablicy teplofizicheskikh svojstv vody i vodyanogo para [Tables of thermophysical properties of water and water vapor]. – 1969.

5 Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu ekspress-ispytaniy parovyh turbin elektrostancij, utverzhdeny prikazom Ministra energetiki Respubliki Kazahstan ot 30 dekabrya 2016 goda № 580 [Methodological guidelines for conducting express tests of steam turbines of power plants, approved by the order of the Minister of Energy of the Republic of Kazakhstan dated December 30, 2016 No. 580]

6 **Truhnij A.D., Losev S.M.** Stacionarnye parovye turbiny [Stationary steam turbines]. – Moscow : MEI, 2001.

7 **SHCHeglyayev, A. V.** Parovye turbiny. [Steam turbines] [Text] – Moscow : Energoatomizdat, 1993.

8 **Samojlovich, G. S., Troyanovskij, B. M.** Peremennye i perekhodnye rezhimy v parovyh turbinah. [Variable and transient modes in steam turbines]. – Moscow : Energoizdat, 1982.

9 **Nigmatulin, I. N. i dr.** Teplovye dvigateli. [Heat engines] [Text]. – Moscow : Vysshaya shkola, 1974.

10 Parovye i gazovye turbiny dlya elektrostancij / Pod red. A. G. Kostyuka [Steam and gas turbines for power plants] – Moscow : MEI, 2016.

Материал поступил в редакцию 28.08.21.

*Н. М. Мартынова, Е. В. Оришевская, *Е. В. Приходько*
Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 28.08.21 баспаға түсті.

500 МВТ ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ ТУРБОАГРЕГАТТЫҚ СОРҒЫСЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН ТАЛДАУ

Мақалада К-500-240-2 турбиналық қондырғының термиялық сынақтары негізінде энергия қондырғысының жылдылық жұмысының тиімділігі талданады, оның барысында жұмыс кезінде қондырғы тиімділігінің өзгеруі бағаланады.

Турбина қондырғысының термиялық сынағы келесі режимдер бойынша екі сериялы эксперименттерді қамтыды: турбиналық сорапты негізгі турбинаның ұшуынан және жоғары жылдамдықты төмендету-салқындату қондырғысынан қуат көзі.

Тәуелділіктер алынды: турбо жетегінің бу шығыны мен турбо жетегінің ішкі қуаты қоректендіру суының шығысына және турбо

беріліс сорғысының конденсаторындағы шығатын будың қысымы турбо жетегі.

Турбо-сораптың жылдам әсер ететін төмендететін-салқындатқыш қондырғысы бу сорғыларының жетек турбиналарына және 30 %-дан төмен жүктемеде, экстракциядағы бу қысымы кезінде бу жеткізуге мүмкіндік береді. турбо сорғылар жеткіліксіз.

Турбо беру сорғысы турбинаның төртінші қан кетуіне қосылған кезде, турбожетек үшін бу шығынын стандартпен салыстырғанда 11 %-ға жоғарылатады, бұл ішкі салыстырмалы ПӘК-нің төмендеуіне, төмендеуіне байланысты болуы мүмкін. жылудың төмендеуі, сорғының қанағаттанарлықсыз жұмысы және желінің гидравликалық кедергісі

Кілтті сөздер: турбо-сорғы, жұмыс тиімділігі, модульдік қондырғы, турбо жетегі, жұмысты талдау.

**N. M. Martynova, E. V. Orishevskaya, E. V. Prikhodko*

Toraighyrov University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 28.08.21.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE TURBOCHARGER PUMP OF THE 500 MW UNIT

The article analyzes the efficiency of the thermal operation of the power unit based on thermal tests of the K-500-240-2 turbine unit in order to assess the current change in the equipment efficiency during operation.

The thermal test of the turbine unit included two series of experiments under the following modes: power supply of the turbo feed pump from the main turbine take-off and from a high-speed reduction-cooling device.

Dependences have been obtained: the steam flow rate for the turbo drive and the internal power of the turbo drive on the feed water flow rate and the exhaust steam pressure in the condenser of the turbo feed pump-A on the steam flow rate for the turbo drive. The fast-acting reduction-cooling device of the feed turbo pump allows steam to be supplied to the drive turbines of the feed pumps and to the deaerator when the load is dumped or at a load below 30 %, when the steam pressure in the extraction to the turbo pumps is insufficient.

When a turbo feed pump is connected to the fourth bleed of the turbine, there is an 11 % increase in steam consumption for the turbo drive in comparison with the standard, which may be due to a decrease

in the internal relative efficiency, a decrease in the available heat drop, unsatisfactory operation of the pump and an increased hydraulic resistance of the network.

Keywords: turbo feed pump, work efficiency, modular installation, turbo drive, work analysis.

Теруге 28.08.2021 ж. жіберілді. Басуға 11.09.2021 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

2,69 Mb RAM

Шартты баспа табағы 8,11. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3847

Сдано в набор 28.08.2021 г. Подписано в печать 11.09.2021 г.

Электронное издание

2,69 Mb RAM

Усл. печ. л. 8,11. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3847

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz